

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-002783

(43)Date of publication of application : 08.01.2003

(51)Int.Cl.

C30B 29/06

(21)Application number : 2001-181583

(71)Applicant : SUMITOMO MITSUBISHI SILICON CORP.

(22)Date of filing : 15.06.2001

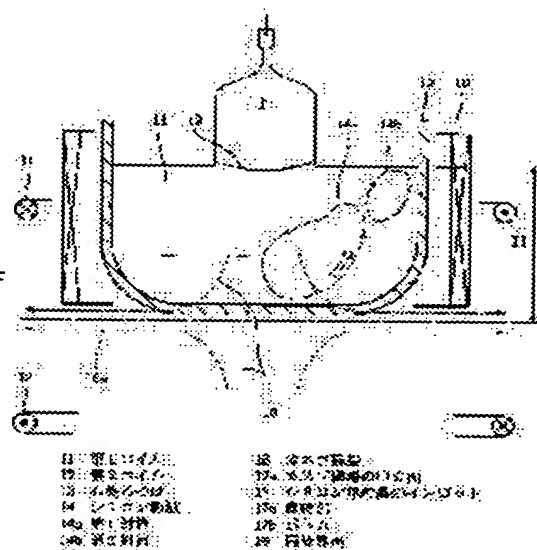
(72)Inventor : SUZUKI YOJI
HARADA KAZUHIRO
FU SHINRIN

(54) METHOD FOR PRODUCING SILICON SINGLE CRYSTAL

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To produce a defect-free, high quality silicon single crystal with comparative ease.

SOLUTION: A first coil 11 and a second coil 12 each having a coil diameter larger than that of a quartz crucible 13 are arranged at a predetermined interval in the vertical direction so that the rotation axis of the crucible 13 agrees with the center of each coil, and electric currents are made to flow through the coils in such a manner that the directions of the currents flowing through the coils are reverse to each other. Thereby, cusp fields 16 passing through a neutral plane 16a between these coils from the center of each coil are generated. When the inner diameter of the crucible is expressed by D, the neutral plane of the cusp fields 16 is controlled to be located at a position 0.20D to D below the surface of the silicon melt 14, and the strength of the cusp fields 16 in the horizontal direction on the circumference which is located on the neutral plane of the cusp fields 16 and which is 300 mm apart in the radial direction from the intersecting point of the neutral plane with the rotation axis of the crucible 13 is controlled to be a constant value in the range of 50 to 300 gauss. Further, an ingot is pulled at such a speed that the inside of the ingot becomes a perfect zone where a coagulation of point defects does not exist.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

28.02.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-2783

(P2003-2783A)

(43) 公開日 平成15年1月8日(2003.1.8)

(51) Int.Cl.⁷

C 3 0 B 29/06

識別記号

5 0 2

F I

C 3 0 B 29/06

テマコード*(参考)

5 0 2 G 4 G 0 7 7

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-181583(P2001-181583)

(22) 出願日 平成13年6月15日(2001.6.15)

(71) 出願人 302006854

三菱住友シリコン株式会社

東京都港区芝浦一丁目2番1号

(72) 発明者 鈴木 洋二

東京都千代田区大手町1丁目5番1号 三

菱マテリアルシリコン株式会社内

(72) 発明者 原田 和浩

東京都千代田区大手町1丁目5番1号 三

菱マテリアルシリコン株式会社内

(74) 代理人 100085372

弁理士 須田 正義

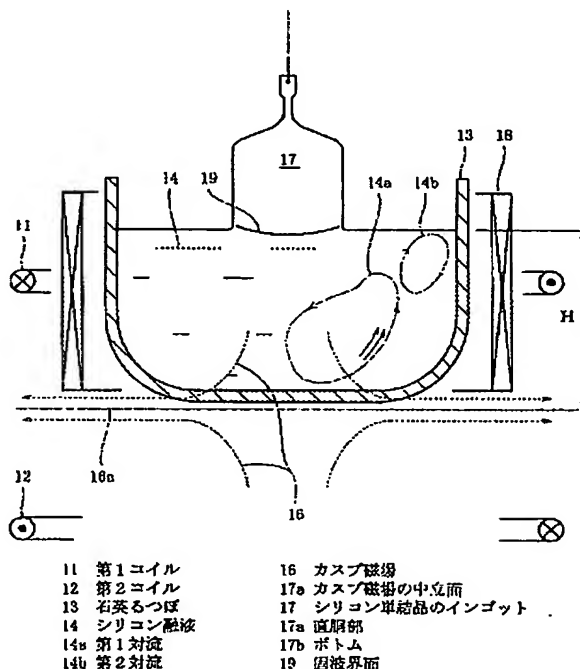
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 シリコン単結晶の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 無欠陥で高品質のシリコン単結晶を比較的容易に製造する。

【解決手段】 石英るつぼ13の外径より大きなコイル直径を有する第1及び第2コイル11、12を、石英るつぼの回転軸をコイル中心としかつ鉛直方向に所定の間隔をあけて配設し、第1及び第2コイルに互いに逆向きの電流を流すことにより、各コイル中心からこれらのコイル間の中立面16aを通るカスプ磁場16が発生する。石英るつぼの内径をDとすると、カスプ磁場の中立面がシリコン融液14の表面から0.20D~D下がった位置になるように制御し、カスプ磁場の中立面上であって石英るつぼの回転軸との交点から半径方向に300mm離れた円周上でのカスプ磁場の水平方向の強度が50~300ガウスの範囲内の一定値となるように制御する。またインゴット内が点欠陥の凝集体の存在しないパーフェクト領域となる引上げ速度でインゴットを引上げる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 シリコン単結晶のインゴット(17)を引上げるためのシリコン融液(14)を石英るつぼ(13)に貯留し、この石英るつぼの外径より大きなコイル直径を有する第1及び第2コイル(11,12)を前記石英るつぼの回転軸をそれぞれコイル中心としかつ鉛直方向に所定の間隔をあけて配設し、前記第1及び第2コイルに互いに逆向きの電流を流すことにより前記第1及び第2コイルの各コイル中心から前記第1及び第2コイル間の水平面である中立面(16a)を通るカスプ磁場(16)が発生し、前記カスプ磁場の中立面と前記シリコン融液(14)の表面との距離を前記石英るつぼ(13)の内径に対して所定の割合となるように制御し、前記カスプ磁場(16)の強度が一定となるように制御し、前記インゴット(17)内が格子間シリコン型点欠陥の凝集体及び空孔型点欠陥の凝集体の存在しないパーフェクト領域となる引上げ速度で前記インゴットを引上げるシリコン単結晶の製造方法において、前記石英るつぼ(13)の内径をDとすると、前記カスプ磁場(16)の中立面(16a)を前記シリコン融液(14)の表面から0.20D～D下がった位置になるように制御し、前記カスプ磁場(16)の中立面(16a)上であって前記石英るつぼ(13)の回転軸との交点から半径方向に300mm離れた円周上での前記カスプ磁場(16)の水平方向の強度が50～300ガウスの範囲内の一定値となるように制御することを特徴とするシリコン単結晶の製造方法。

【請求項2】 インゴット(17)の直径が200mmであって、石英るつぼ(13)の内径Dが600mmであるときに、カスプ磁場(16)の中立面(16a)をシリコン融液(14)の表面から120～600mm下がった位置になるように制御し、前記カスプ磁場(16)の中立面(16a)上であって前記石英るつぼ(13)の回転軸との交点から半径方向に300mm離れた円周上での前記カスプ磁場(16)の水平方向の強度が50～300ガウスの範囲内の一定値となるように制御する請求項1記載のシリコン単結晶の製造方法。

【請求項3】 インゴット(17)の直径が300mmであって、石英るつぼ(13)の内径Dが800mmであるときに、カスプ磁場(16)の中立面(16a)をシリコン融液(14)の表面から160～800mm下がった位置になるように制御し、前記カスプ磁場(16)の中立面(16a)上であって前記石英るつぼ(13)の回転軸との交点から半径方向に300mm離れた円周上での前記カスプ磁場(16)の水平方向の強度が50～300ガウスの範囲内の一定値となるように制御する請求項1記載のシリコン単結晶の製造方法。

【請求項4】 インゴット(17)を引上げる前のシリコン融液(14)の重量に対する、シリコン融液(14)から引上げられるインゴット(17)の重量の割合である固化率が50～100%の範囲内であるときに、カスプ磁場(16)の中立面(16a)の位置と、前記カスプ磁場(16)の中立面(16a)

上であって前記石英るつぼ(13)の回転軸との交点から半径方向に300mm離れた円周上での前記カスプ磁場(16)の水平方向の強度とを請求項1ないし3いずれか記載の範囲でそれぞれ制御するシリコン単結晶の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、シリコン単結晶をシリコン融液から引上げて製造するときに、シリコン融液にカスプ(CUSP)磁場を印加しながらシリコン単結晶を製造する方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、シリコン単結晶の製造方法として、シリコン単結晶のインゴットをチョクラルスキー法(以下、CZ法という)により引上げる方法が知られている。このCZ法は、石英るつぼに貯留されたシリコン融液に種結晶を接触させ、石英るつぼ及び種結晶を回転させながら種結晶を引上げることにより、円柱状のシリコン単結晶のインゴットを製造する方法である。

【0003】 一方、半導体集積回路を製造する工程において、歩留りを低下させる原因として酸化誘起積層欠陥(Oxidation Induced Stacking Fault、以下、OSFという。)の核となる酸素析出物の微小欠陥や、結晶に起因したパーティクル(Crystal Originated Particle、以下、COPという。)や、或いは侵入型転位(Intertitial-type Large Dislocation、以下、LDという。)の存在が挙げられている。OSFは、結晶成長時にその核となる微小欠陥が導入され、半導体デバイスを製造する際の熱酸化工程等で顕在化し、作製したデバイスのリーク電流の増加等の不良原因になる。またCOPは、鏡面研磨後のシリコンウェーハをアンモニアと過酸化水素の混合液で洗浄したときにウェーハ表面に出現する結晶に起因したビットである。このウェーハをパーティクルカウンタで測定すると、このビットも本来のパーティクルとともに光散乱欠陥として検出される。

【0004】 このCOPは電気的特性、例えば酸化膜の経時絶縁破壊特性(Time Dependent dielectric Breakdown、TDD B)、酸化膜耐圧特性(Time Zero Dielectric Breakdown、TZD B)等を劣化させる原因となる。またCOPがウェーハ表面に存在するとデバイスの配線工程において段差を生じ、断線の原因となり得る。そして素子分離部分においてもリーク等の原因となり、製品の歩留りを低くする。更にLDは、転位クラスタとも呼ばれたり、或いはこの欠陥を生じたシリコンウェーハをフッ酸を主成分とする選択エッチング液に浸漬するとビットを生じることから転位ビットとも呼ばれる。このLDも、電気的特性、例えばリーク特性、アイソレーション特性等を劣化させる原因となる。この結果、半導体集積回路を製造するために用いられるシリコンウェーハからOSF、COP及びLDを減少させることが必要となっている。

【0005】このOSF、COP及びLDを有しない無欠陥のシリコンウェーハを切出すためのシリコン単結晶インゴットの製造方法が特開平11-1393号公報に開示されている。一般に、シリコン単結晶のインゴットを速い速度で引上げると、インゴット内部に空孔型点欠陥の凝集体が支配的に存在する領域[V]が形成され、インゴットを遅い速度で引上げると、インゴット内部に格子間シリコン型点欠陥の凝集体が支配的に存在する領域[I]が形成される。このため上記製造方法では、インゴットを最適な引上げ速度で引上げることにより、上記点欠陥の凝集体が存在しないパーフェクト領域[P]からなるシリコン単結晶を製造できるようになっている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記従来の特開平11-1393号公報に示されたシリコン単結晶インゴットの製造方法では、シリコン単結晶のインゴットとシリコン融液との固液界面の面内での鉛直方向の温度勾配が均一になるように制御する必要があり、この制御はシリコン融液の残量の変化や対流の変化による影響を受けるため、インゴットの直胴部全長にわたって、無欠陥のシリコン単結晶を製造することは困難であった。本発明の目的は、インゴットの引上げ速度を厳密に制御しなくても、無欠陥で高品質のシリコン単結晶のインゴットを比較的容易に製造できる、シリコン単結晶の製造方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】請求項1に係る発明は、図1に示すように、シリコン単結晶のインゴット17を引上げるためのシリコン融液14を石英るつぼ13に貯留し、この石英るつぼの外径より大きなコイル直径を有する第1及び第2コイル11、12を石英るつぼ13の回転軸をそれぞれコイル中心としかつ鉛直方向に所定の間隔をあけて配設し、第1及び第2コイル11、12に互いに逆向きの電流を流すことにより第1及び第2コイルの各コイル中心から第1及び第2コイル間の水平面である中立面16aを通るカスプ磁場16が発生し、カスプ磁場16の中立面とシリコン融液14の表面との距離を石英るつぼ13の内径に対して所定の割合となるように制御し、カスプ磁場16の強度が一定となるように制御し、上記インゴット17内が格子間シリコン型点欠陥の凝集体及び空孔型点欠陥の凝集体の存在しないパーフェクト領域となる引上げ速度で上記インゴット17を引上げるシリコン単結晶の製造方法の改良である。その特徴ある構成は、石英るつぼ13の内径をDとすると、カスプ磁場16の中立面16aをシリコン融液14の表面から0.20D～D下がった位置になるように制御し、カスプ磁場16の中立面16a上であって石英るつぼ13の回転軸との交点から半径方向に300mm離れた円周上でのカスプ磁場16の水平方向の強度が50～300

0ガウスの範囲内の一定値となるように制御するところにある。

【0008】この請求項1に記載されたシリコン単結晶の製造方法では、カスプ磁場16の中立面16aの位置及びカスプ磁場16の強度を上記の範囲で制御しながら、シリコン単結晶のインゴット17を引上げると、シリコン融液14に所定の対流14a、14bが発生するため、インゴット17中心直下の熱は比較的高く保持されて、固液界面19が下方に突出する割合が小さくなる。一方、インゴット17内がパーフェクト領域となるインゴットの引上げ速度の許容範囲は、上記対流14a、14bの変化により固液界面16aの面内での鉛直方向の温度勾配が均一になる、即ちパーフェクト領域となる引上げ速度の面内均一性が向上するという理由により広がるため、インゴットの引上げ速度の制御が比較的容易になる。この結果、インゴットの引上げ速度を厳密に制御しなくても、無欠陥で高品質のシリコン単結晶のインゴットを比較的容易に製造できる。

【0009】また上記インゴットの直径が200mmであって、石英るつぼの内径Dが600mmであるときに、カスプ磁場の中立面をシリコン融液の表面から120～600mm下がった位置になるように制御し、カスプ磁場16の中立面16a上であって石英るつぼ13の回転軸との交点から半径方向に300mm離れた円周上でのカスプ磁場16の水平方向の強度が50～300ガウスの範囲内の一定値となるように制御することが好ましい。更に上記インゴットの直径が300mmであって、石英るつぼの内径Dが800mmであるときに、カスプ磁場の中立面をシリコン融液の表面から160～800mm下がった位置になるように制御し、カスプ磁場16の中立面16a上であって石英るつぼ13の回転軸との交点から半径方向に300mm離れた円周上でのカスプ磁場16の水平方向の強度が50～300ガウスの範囲内の一定値となるように制御することができる。

【0010】請求項4に係る発明は、図1及び図3に示すように、インゴット17を引上げる前のシリコン融液14の重量に対する、シリコン融液14から引上げられるインゴット17の重量の割合である固化率が50～100%の範囲内であるときに、カスプ磁場16の中立面16aの位置と、カスプ磁場16の中立面16a上であって石英るつぼ13の回転軸との交点から半径方向に300mm離れた円周上でのカスプ磁場16の水平方向の強度とを請求項1ないし3いずれか記載の範囲でそれぞれ制御するシリコン単結晶の製造方法である。この請求項4に記載されたシリコン単結晶の製造方法では、インゴット17のボトム17b側の引上げ時であっても、固液界面19の下方に突出する割合が小さくなって固液界面が平面に近い形状が保たれるため、パーフェクト領域となるインゴット17の引上げ速度の許容範囲は殆ど減少しない。この結果、シリコン単結晶のインゴットの直

胴部の大部分が無欠陥で高品質となる。

【0011】

【発明の実施の形態】次に本発明の実施の形態を図面に基いて説明する。図1に示すように、本発明のシリコン単結晶の製造方法は、石英るつぼ13に貯留されたシリコン融液14に第1及び第2コイル11、12を用いてカスプ磁場16を印加しながら、このシリコン融液14からシリコン単結晶のインゴット17を上げる方法である。上記第1及び第2コイル11、12は、石英るつぼ13の外径より大きなコイル直径を有し、石英るつぼ13の回転軸をそれぞれコイル中心としかつ鉛直方向に所定の間隔をあけて配設される。また第1及び第2コイル11、12には互いに逆向きの電流が流され、これにより第1及び第2コイルの各コイル中心から第1及び第2コイル間の水平面である中立面16aを通るカスプ磁場16が発生するようになっている。なお、図1の符号18は石英るつぼ13の外周面を包囲するヒータである。

【0012】一方、上記インゴット17は、このインゴット内が格子間シリコン型点欠陥の凝集体及び空孔型点欠陥の凝集体の存在しないパーフェクト領域となる引上げ速度で引上げられる。即ち、インゴット17は、CZ法によりホットゾーン炉内のシリコン融液14からボロ

ンコフ(Voronkov)の理論に基づいた所定の引上げ速度プロファイルで引上げられる。

【0013】一般的に、CZ法によりホットゾーン炉内のシリコン融液14からシリコン単結晶のインゴット17を上げると、インゴット内には、点欠陥(point defect)と点欠陥の凝集体(agglomerates:三次元欠陥)が発生する。点欠陥は空孔型点欠陥と格子間シリコン型点欠陥という二つの一般的な形態がある。空孔型点欠陥は一つのシリコン原子がシリコン結晶格子で正常的な位置の一つから離脱したものである。このような空孔が空孔型点欠陥になる。一方、原子がシリコン結晶の格子点以外の位置(インタースチシャルサイト)で発見されるとこれが格子間シリコン点欠陥になる。

【0014】点欠陥は一般的にシリコン融液14とインゴット17の間の接触面、即ち固液界面19で形成される。しかし、インゴット17を継続的に引上げることによって固液界面19であった部分は引上げとともに冷却し始める。冷却の間、空孔型点欠陥又は格子間シリコン型点欠陥は拡散により互いに合併して、空孔型点欠陥の凝集体(vacancy agglomerates)又は格子間シリコン型点欠陥の凝集体(interstitial agglomerates)が形成される。言い換えれば、凝集体は点欠陥の合併に起因して発生する三次元構造となる。

【0015】空孔型点欠陥の凝集体は、前述したCOPの他に、LSTD(Laser Scattering Tomograph Defects)又はFPD(Flow Pattern Defects)と呼ばれる欠陥を含み、格子間シリコン型点欠陥の凝集体は前述した

LDと呼ばれる欠陥を含む。FPDとは、インゴットをスライスして作製されたシリコンウェーハを30分間セコエッチング(Secco etching、 $\text{HF}:\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7(0.15\text{mol/l})=2:1$ の混合液によるエッチング)したときに現れる特異なフローパターンを呈する痕跡の源であり、LSTDとは、シリコン単結晶内に赤外線を照射したときにシリコンとは異なる屈折率を有し散乱光を発生する源である。

【0016】ボロンコフの理論は、欠陥の数が少ない高純度インゴット17を成長させるために、インゴットの引上げ速度を $V(\text{mm/分})$ 、インゴットとシリコン融液14の界面近傍のインゴット中の温度勾配を $G(^\circ\text{C/mm})$ とすると、 $V/G(\text{mm}^2/\text{分}\cdot^\circ\text{C})$ を制御することである。この理論では、図2に示すように、 V/G を横軸にとり、空孔型点欠陥濃度と格子間シリコン型点欠陥濃度を同一の縦軸にとって、 V/G と点欠陥濃度との関係を図式的に表現し、空孔領域と格子間シリコン領域の境界が V/G によって決定されることを説明している。より詳しくは、 V/G 比が臨界点以上では空孔型点欠陥濃度が優勢なインゴットが形成される反面、 V/G 比が臨界点以下では格子間シリコン型点欠陥濃度が優勢なインゴットが形成される。図2において、[I]は格子間シリコン型点欠陥が支配的であって、格子間シリコン型点欠陥の凝集体が存在する領域($(V/G)_1$ 以下)を示し、[V]はインゴット内での空孔型点欠陥が支配的であって、空孔型点欠陥の凝集体が存在する領域($(V/G)_2$ 以上)を示し、[P]は空孔型点欠陥の凝集体及び格子間シリコン型点欠陥の凝集体が存在しないパーフェクト領域($(V/G)_1\sim(V/G)_2$)を示す。領域[P]に隣接する領域[V]にはOSF核を形成する領域[OSF]($(V/G)_2\sim(V/G)_3$)が存在する。

【0017】このパーフェクト領域[P]は更に領域[P₁]と領域[P_v]に分類される。[P₁]は V/G 比が上記 $(V/G)_1$ から臨界点までの領域であり、[P_v]は V/G 比が臨界点から上記 $(V/G)_2$ までの領域である。即ち、[P₁]は領域[I]に隣接し、かつ侵入型転位を形成し得る最低の格子間シリコン型点欠陥濃度未満の格子間シリコン型点欠陥濃度を有する領域であり、[P_v]は領域[V]に隣接し、かつOSFを形成し得る最低の空孔型点欠陥濃度未満の空孔型点欠陥濃度を有する領域である。なお、上記OSFは、結晶成長時にその核となる微小欠陥が導入され、半導体デバイスを製造する際の熱酸化工程等で顕在化し、作製したデバイスのリーク電流の増加等の不良原因になる。

【0018】図1に戻って、カスプ磁場16の中立面16aとシリコン融液14の表面との距離を石英るつぼ13の内径に対して所定の割合となるように制御し、カスプ磁場16の強度が一定となるように制御する。即ち、石英るつぼ13の内径をDとすると、カスプ磁場16の中立面16aをシリコン融液14の表面から0.20

D〜D、好ましくは0.20D〜0.66D下がった位置になるように制御し、カスプ磁場16の中立面16a上であって石英るつぼ13の回転軸との交点から半径方向に300mm離れた円周上でのカスプ磁場16の水平方向の強度が50〜300ガウス、好ましくは150〜250ガウスの範囲内の一定値となるように制御する。

【0019】なお、カスプ磁場16の中立面16aの位置を0.20D〜Dの範囲に限定したのは、0.20D未満或いはDを越えると、石英るつぼ13の底部付近の磁場強度が強くなり、この底部から固液界面19方向への対流が減少し、インゴット17直下の温度が低下し、固液界面19の下方に突出する割合が大きくなる、即ち固液界面19における鉛直方向の温度勾配の面内均一性が悪化し、パーフェクト領域となるインゴット17の引上げ速度の許容範囲が狭くなるからである。またカスプ磁場16の中立面16a上であって石英るつぼ13の回転軸との交点から半径方向に300mm離れた円周上でのカスプ磁場16の水平方向の強度を50〜300ガウスの範囲に限定したのは、50ガウス未満では、無磁場と同等であり、インゴットの引上げ速度を厳密に制御しなくても、無欠陥で高品質のシリコン単結晶のインゴットを比較的容易に製造できるという本発明の目的を達成できず、300ガウスを越えると、石英るつぼ13の底部付近の磁場強度が強くなり、この底部から固液界面19方向への対流が減少し、インゴット17直下の温度が低下し、固液界面19の下方に突出する割合が大きくなる、即ち固液界面19における鉛直方向の温度勾配の面内均一性が悪化し、パーフェクト領域となるインゴット17の引上げ速度の許容範囲が狭くなるからである。

【0020】具体的には、上記インゴット17の直径が200mmであって、石英るつぼ13の内径Dが600mmであるときには、カスプ磁場16の中立面16aをシリコン融液14の表面から120〜600mm、好ましくは120〜400mm下がった位置になるように制御し、カスプ磁場16の中立面16a上であって石英るつぼ13の回転軸との交点から半径方向に300mm離れた円周上でのカスプ磁場16の水平方向の強度が50〜300ガウス、好ましくは150〜250ガウスの範囲内の一定値となるように制御する。また上記インゴット17の直径が300mmであって、石英るつぼ13の内径Dが800mmであるときには、カスプ磁場16の中立面16aをシリコン融液14の表面から160〜800mm、好ましくは160〜533mm下がった位置になるように制御し、カスプ磁場16の中立面16a上であって石英るつぼ13の回転軸との交点から半径方向に300mm離れた円周上でのカスプ磁場16の水平方向の強度が50〜300ガウス、好ましくは150〜250ガウスの範囲内の一定値となるように制御する。

【0021】なお、カスプ磁場16の中立面16aの位置と、カスプ磁場16の中立面16a上であって石英る

つぼ13の回転軸との交点から半径方向に300mm離れた円周上でのカスプ磁場16の水平方向の強度の制御は、インゴット17の直胴部17a全長の引上げ時にわたって、或いはインゴット17のトップ部17b、直胴部17a及びボトム部17cの全長の引上げ時にわたって、即ちインゴット17の固化率が0〜100%の範囲内で行ってもよい。しかし、図3に示すように、インゴット17の固化率が50〜100%の範囲内、即ちインゴット17の直胴部17aの後半部分17d及びボトム部17bの引上げ時、或いはインゴット17の直胴部17aの後半部分17dの引上げ時に行ってもよい。ここでインゴット17の固化率とは、インゴット17を引上げる前のシリコン融液14の重量に対する、シリコン融液14から引上げられるインゴット17の重量の割合をいう。また上記制御を行うインゴット17の固化率の範囲を50〜100%に限定したのは、50%未満では、カーボンパーツ等により固液界面19における鉛直方向の温度勾配の面内均一性を高めた初期引上げ状態を維持することができ、特にカスプ磁場を印加する必要性が乏しいからである。

【0022】上述のようにカスプ磁場16の中立面16aの位置及びカスプ磁場16の鉛直方向の強度を制御しながら、シリコン単結晶のインゴット17を引上げると、石英るつぼ13の底部近傍を循環する比較的流速の速い第1対流14aが発生するとともに、固液界面19近傍と石英るつぼ13周縁近傍とを循環する第2対流14bが発生する。上記第1対流14aはインゴット17の下方に固液界面19から比較的離れているので、インゴット17中心直下の熱は比較的高く保持される、即ち固液界面19の下方に突出する割合が小さくなって固液界面19は平面に近い形状となる。

【0023】一方、インゴット17内がパーフェクト領域[P]となるためのインゴット17の引上げ速度の許容範囲は、第1及び第2対流14a、14bの変化により固液界面16aの面内での鉛直方向の温度勾配が均一になる、即ちパーフェクト領域となる引上げ速度の面内均一性が向上するという理由により広がるので、インゴット17の引上げ速度の制御は比較的容易になる。更に上記第1及び第2対流14a、14bはインゴット17の引上げ工程のほぼ全工程にわたって発生し続けるため、インゴット17のボトム17b側の引上げ時であっても、固液界面19の下方に突出する割合が小さく固液界面19が平面に近い形状に保たれる。即ち、インゴット17内がパーフェクト領域[P]となるためのインゴット17の引上げ速度の許容範囲は殆ど減少しない。この結果、インゴット17の引上げ速度を厳密に制御しなくても、インゴット17の直胴部17aの全長にわたって無欠陥で高品質のシリコン単結晶のインゴットを比較的容易に製造できる。

【0024】

【実施例】次に本発明の実施例を比較例とともに詳しく説明する。

＜実施例1＞図1に示すように、内径が600mmの石英るつぼ13にシリコン融液14を貯留し、この石英るつぼ13の外周面をヒータ18により包囲した。またコイル直径が1450mmである第1及び第2コイル11, 12を、石英るつぼ13の回転軸をコイル中心としかつ鉛直方向に410mmあけて配設した。更にこれらのコイル11, 12の互いに逆向きの電流を流すことにより、各コイル中心から第1及び第2コイルの中立面を通るカスプ磁場16を発生させた。このカスプ磁場の中立面16aが固液界面19から下方に300mmとなるように第1及び第2コイル11, 12の位置を制御し、シリコン融液14の表面におけるカスプ磁場16の鉛直方向の強度が200 Gaussとなるように各コイルに流す電流を制御した。この状態で直径200mmのシリコン単結晶のインゴット17を上記シリコン融液14から引上げた。このときの引上げ速度は、図6(d)に示すように、引上げ長が0mmから700mmまでは0.7mm/分から0.3mm/分まで次第に低下させ、引上げ長が700mmから1400mmまでは0.3mm/分から0.7mm/分まで次第に増大させた。このように製造されたシリコン単結晶のインゴット17を実施例1とした。

【0025】＜比較例1＞図2に示すように、カスプ磁場6の中立面6aが固液界面9と略同一となるように第1及び第2コイル1, 2の位置を制御し、シリコン融液4の表面におけるカスプ磁場6の鉛直方向の強度が600 Gaussとなるように各コイルに流す電流を制御したことを除いて、実施例1と同様にしてシリコン単結晶のインゴット7aを引上げた。このインゴット7aを比較例1とした。なお、図4の符号3は実施例1と同一の石英るつぼであり、符号8は実施例1と同一のヒータである。＜比較例2＞図3に示すように、カスプ磁場を発生させないことを除いて、実施例1と同様にしてシリコン単結晶のインゴット7bを引上げた。このインゴット7bを比較例2とした。なお、図3において図2と同一符号は同一部品を示す。

【0026】＜比較試験1及び評価＞実施例1、比較例1及び比較例2のインゴットを軸方向にスライスして、各インゴットの内部の欠陥の分布状態を調べた。その結果を図6(a)～図6(c)に示す。図6(a)～図6(c)から明かなように、インゴットの引上げ速度を次第に低下させた場合、比較例1では、全体にわたってパーフェクト領域[P]となるシリコンウェハは製造できなかったのに対し、比較例2及び実施例1では、全体にわたってパーフェクト領域[P]となるシリコンウェハを、引上げ方向に長さ M_1 及び L_1 の範囲でそれぞれ切出すことができた。なお、長さ M_1 及び L_1 は略同一であった。一方、インゴットの引上げ速度を次第に増大

させた場合、比較例1では、パーフェクト領域[P]が全く出現しなかったのに対し、比較例2及び実施例1では、全体にわたってパーフェクト領域[P]となるシリコンウェハを、引上げ方向に長さ M_2 及び L_2 の範囲でそれぞれ切出すことができた。但し、 $L_2 > M_2$ であるため、図6(d)から明かなように、インゴット内部がパーフェクト領域[P]となる引上げ速度の許容範囲は実施例1の方が比較例2より広がった、即ち $L_3 > M_3$ であった。

【0027】＜比較試験2及び評価＞実施例1及び比較例2のインゴット引上げ時の固化率を増大させたときの、無欠陥領域となるインゴットの引上げ速度の許容範囲を図7に示す。図7から明かなように、比較例2では、固化率が50%を越えると、パーフェクト領域[P]となるインゴットの引上げ速度の許容範囲が急激に減少したのに対し、実施例1では、固化率が50%を越えても、パーフェクト領域[P]となるインゴットの引上げ速度の許容範囲は殆ど減少しなかった。

【0028】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、石英るつぼの内径をDとすると、カスプ磁場の中立面をシリコン融液の表面から0.20D～D下がった位置になるように制御し、カスプ磁場の中立面上であって石英るつぼの回転軸との交点から半径方向に300mm離れた円周上でのカスプ磁場の水平方向の強度が50～300 Gaussの範囲内の一定値となるように制御したので、インゴット中心直下の熱は比較的高く保持されて、固液界面が下方に突出する割合が小さくなる。即ち、固液界面における鉛直方向の温度勾配の面内均一性が高くなり、インゴットの引上げ速度及び上記温度勾配の比(V/G)の面内均一性が向上する。この結果、インゴットの径方向でパーフェクト領域となる引上げ速度が均一になり、インゴット内がパーフェクト領域となる引上げ速度の許容範囲は広くなる。従って、インゴットの引上げ速度を厳密に制御しなくても、無欠陥で高品質のシリコン単結晶のインゴットを比較的容易に製造できる。

【0029】また上記インゴットの固化率が50～100%の範囲内であるときに、カスプ磁場の中立面の位置と、カスプ磁場の中立面上であって石英るつぼの回転軸との交点から半径方向に300mm離れた円周上でのカスプ磁場の水平方向の強度を所定の範囲でそれぞれ制御すれば、インゴットのボトム側の引上げ時であっても、固液界面の下方に突出する割合が小さくなり、固液界面が平面に近い形状に保たれる。この結果、インゴット内がパーフェクト領域となるためのインゴットの引上げ速度の許容範囲は殆ど減少しないので、インゴットの直胴部の全長にわたって無欠陥で高品質のシリコン単結晶のインゴットを製造できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明実施形態及び実施例1のシリコン単結晶

を上げている状態を示す断面構成図。

【図2】ボロンコフの理論に基づいた、 V/G 比が臨界点以上では空孔型点欠陥濃度が優勢なインゴットが形成され、 V/G 比が臨界点以下では格子間シリコン型点欠陥濃度が優勢なインゴットが形成されることを示す図。

【図3】引上げられたシリコン単結晶のインゴットの側面図。

【図4】比較例1を示す図1に対応する断面構成図。

【図5】比較例2を示す図1に対応する断面構成図。

【図6】(a)～(c) 比較例1、比較例2及び実施例1のシリコン単結晶のインゴットの引上げ速度を変化させたときの、各インゴット内の欠陥分布の変化を示す図。

(d) 比較例1、比較例2及び実施例1のインゴットの引上げ長の変化に対するインゴットの引上げ速度の変化を示す図。

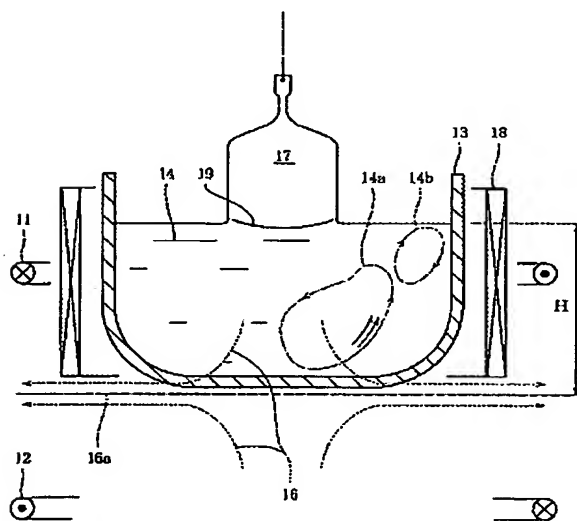
【図7】実施例1及び比較例2のシリコン単結晶のイン

ゴットを引上げてその固化率を変化させたときの、パーフェクト領域となるインゴットの引上げ速度の許容範囲の変化を示す図。

【符号の説明】

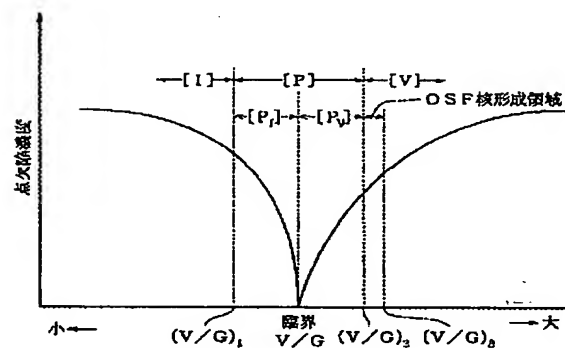
- 11 第1コイル
- 12 第2コイル
- 13 石英るつぼ
- 14 シリコン融液
- 14a 第1対流
- 14b 第2対流
- 16 カスプ磁場
- 16a カスプ磁場の中立面
- 17 シリコン単結晶のインゴット
- 17a 直胴部
- 17b ボトム
- 19 固液界面

【図1】

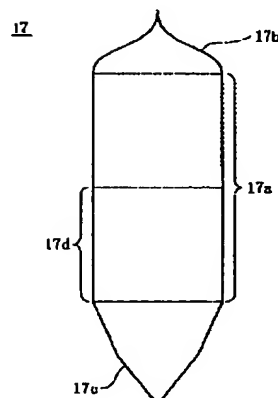


- 11 第1コイル
- 12 第2コイル
- 13 石英るつぼ
- 14 シリコン融液
- 14a 第1対流
- 14b 第2対流
- 16 カスプ磁場
- 16a カスプ磁場の中立面
- 17 シリコン単結晶のインゴット
- 17a 直胴部
- 17b ボトム
- 19 固液界面

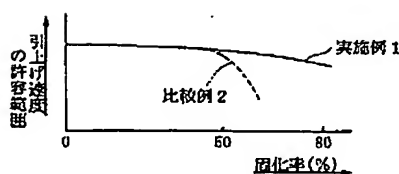
【図2】



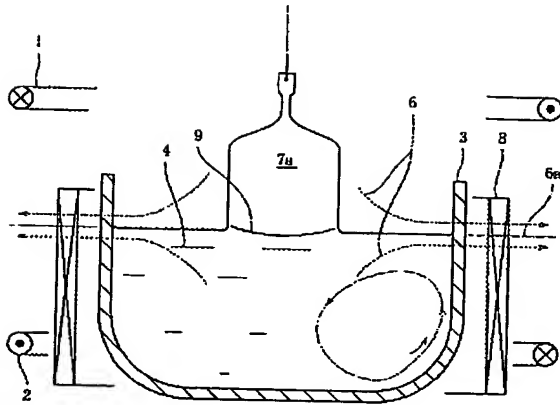
【図3】



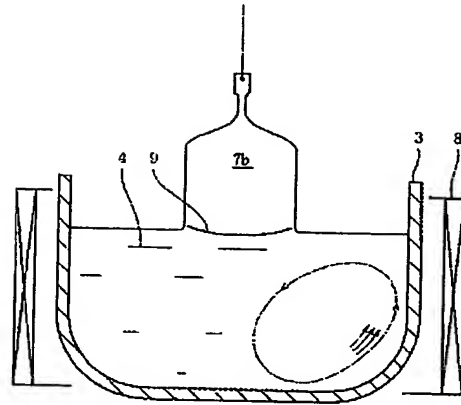
【図7】



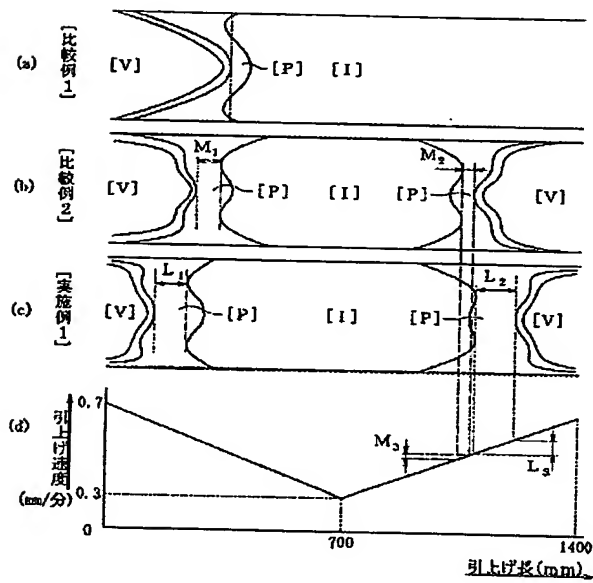
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 符 森林
東京都千代田区大手町1丁目5番1号 三
菱マテリアルシリコン株式会社内

Fターム(参考) 4G077 AA02 BA04 CF10 EJ02 BA12
PF55